



Energiskördning för

Watt och ören – så konstruerar du energiskördande system så att kostnaderna minimeras.



Av Cristian Toma, Microchip

För Cristian Toma var Microchips åttabitare en hobby redan under gymnasiet. På tekniska universitetet i Bukarest hjälpte han forskare att utveckla tillämpningar på PIC-processorer samtidigt som han var rf-testare på ett lokalt telekomföretag. Efter sin elektroexamen rekryterades han av Microchip och fortsätter idag att jobba med sina kära åttabitare, med demonstratorer, dokumentation, utbildning och kundspecifika lösningar.

Det behöver varken vara komplicerat eller dyrt att använda energiskördning för att driva trådlösa sensornoder. Noga genomtänkta kommunikationsprotokoll och bandbredder, tillsammans med de energibesparande egenskaper som de senaste RF-kretsarna erbjuder, kan utnyttjas för att minska förbrukningen och kan ge en trådlös sensornod som kan fungera nästan hur länge som helst helt utan, eller med bara lite grand av mänsklig medverkan.

De enkla energiskördningstekniker som behandlas i denna artikel kan användas för att implementera underhållsfria trådlösa sensorer för kostnadseffektiva nätverk i tillämpningar som exempelvis smarta hem, fastighetsautomation och M2M-kommunikation.

Kostnaden för ett trådlöst nätverk beror visserligen främst på hårdvaran, men även andra faktorer bidrar. Dessa inkluderar kostnader för eventuell ytterligare hård- och mjukvara, certifiering enligt standarder som exempelvis Zigbee och Bluetooth samt royaltyskostnader.

Den mängd energi som kan skördas av en trådlös sensor begränsas typiskt av kostnad och storlek. Därför är det viktigt att se till att den mängd energi som dras av sensorn och den trådlösa sändaren är lägre än den mängd som kan erhållas genom energiskördning.

Det finns ett flertal källor från vilka energi kan skördas, av vilka solenergi är den vanligaste. Solpaneler kommer i många olika storlekar, från stora paneler med många solceller till små celler som används för att driva produkter som exempelvis miniräknare och leksaker.

Bland övriga energikällor hittar vi radiovågor som mottas av en antenn och omvandlas till elektrisk energi, och den elektromekaniska energi som skördas från en magnet som rör sig i närheten av en induktionsspole. Temperaturgradienter kan

också användas för att ge termoelektrisk energi med hjälp av Seebeck-effekten.

VANLIGA TRÅDLÖSA PROTOKOLL som Zigbee och Bluetooth är kanske de första man tänker på när man funderar på vilken trådlös teknik som bör användas för en energiskördande konstruktion.

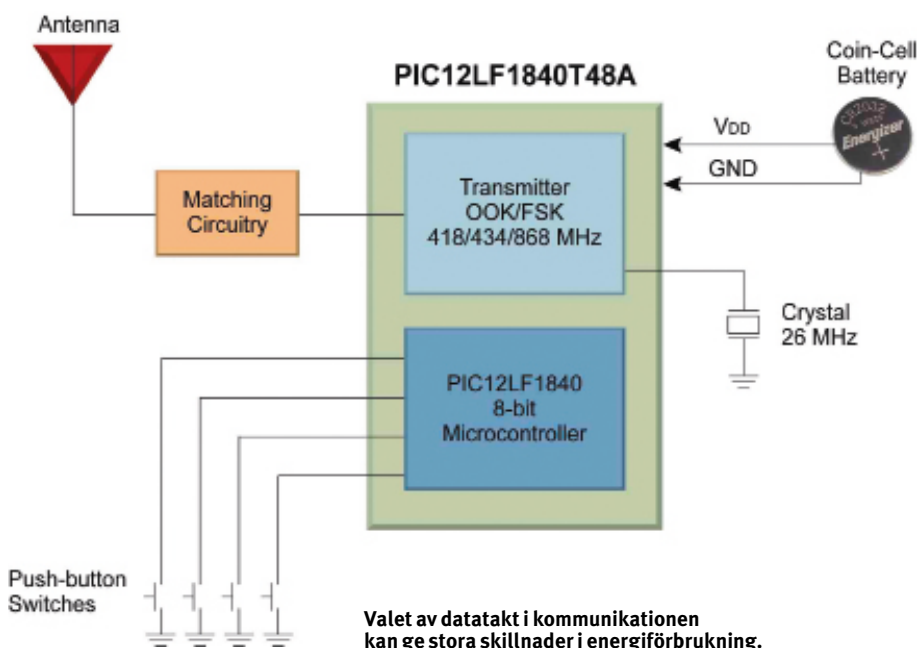
Alla konstruktioner behöver dock inte nödvändigtvis resultera i de kostnader och den komplexitet som användningen av ett trådlöst protokoll av industristandard medför. Valet kommer att baseras på den grad av kompatibilitet som krävs för varje konstruktion. Ett trådlöst headset till en mobiltelefon kommer exempelvis med största sannolikhet att behöva erbjuda bred kompatibilitet, medan en enkel RF-baserad fjärrkontroll varken kan eller behöver stödja kostnaden för kompatibilitet med andra tillverkares produkter.

Alla konstruktioner som innehåller en

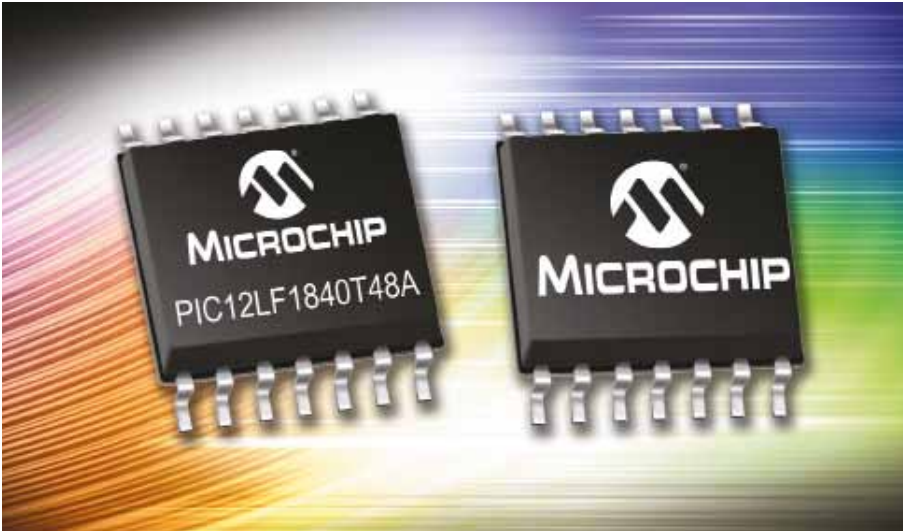
trådlös sensor kommer att behöva FCC- eller CE-certifiering så den kostnaden är gemensam. Kostnaden för certifiering enligt en specialiserad standard är dock normalt högre än kostnaden för FCC- eller CE-certifiering och underskattas ofta.

DEN SAMMANLAGDA KOSTNADEN för implementering av en trådlös standard handlar om mycket mer än de grundläggande hård- och mjukvarukostnaderna. Innan konstruktionen genomgår certifieringstestning måste den förmodligen genomgå en förberedande testprocedur. Det kan kosta kring 750 dollar i månaden att hyra den specialutrustning som krävs för sådana förberedande tester. Till det kommer kostnaden för själva certifieringen som normalt inkluderar kostnader för kompatibilitetstestning, profilttestning och verktyg för bestämning av lämplig hårdvara.

Tillsammans ger dessa tester en typisk



trådlösa sensornoder



kostnad för Zigbeecertifiering på runt 3 000 dollar. Därtill måste man lägga eventuella årliga medlemsavgifter liksom royalties som betalas per krets.

Certifieringens sammanlagda inverkan på kostnaden per enhet beror på tillverkningsvolymen.

Ta exempelvis en konstruktion med en hårdvarukostnad på runt 1 till 1,50 dollar per enhet och en tillverkningsvolym på 10 000 enheter. Med en beräknad kostnad på runt 10 000 dollar skulle certifiering enligt FCC i praktiken fördubbla produktens kostnad per enhet.

Kostnaden för certifiering enligt en RF-standard, med förberedande testing, certifieringsprocedur och RF-testutrustning, kan lätt öka kostnaden till över 10 000 dollar.

EFFEKTIV STYRNING av strömförbrukningen är kritisk för en trådlös sensornod som drivs genom energiskördning och detta påverkar samtliga beslut i konstruktionsprocessen.

Särskild hänsyn måste tas till RF-sändningens konfiguration för att se till att det inte sker onödig kraftförbrukning i systemet. Parametrar som exempelvis modulerings sättet, bandbredden och RF-utgången till antennen, påverkar den sammanlagda kraftförbrukningen. Som en generell riktlinje gäller att kortare perioder av aktiv funktion resulterar i lägre genomsnittlig effektförbrukning. Detta innebär att man måste se till att samtliga kretsar som utnyttjas i konstruktionen, från en LED till en styrkrets eller sändare, ägnar maximal tid i energisnåla lägen.

Effektens relation till bandbredden

Högre datatakt drar mer kraft men har fördelen att de kortare paketlängderna minskar energiförbrukningen.

Också vilket modulerings sätt som utnyttjas har en avgörande roll för energiförbrukningen. ASK- eller OOK-modulering utnyttjar mindre energi eftersom det finns perioder då RF-kraften minskar med ASK-modulering, eller är noll med OOK. Den genomsnittliga strömförbrukningen blir också lägre med ASK. Trots detta är FSK det modulerings sätt som föredras eftersom väsentligt högre datatakt kan erhållas.

Om grundläggande envägs kommunikation är allt som behövs kan konstruktionen använda en enkel RF-sändare; men om målsättningen är certifiering enligt en trådlös standard som exempelvis IEEE 802.15.4, är en specialstyrkrets att föredra.

Microchips PIC12LF1840T48A-styrkrets har exempelvis en integrerad sändare som stöder en datahastighet på 10 kbps i OOK-läge och 100 kbps i FSK-läge. Denna data sänds därför tio gånger snabbare med FSK-modulering än med OOK. Vid högre datahastighet kan en RF-mottagare även motta och avkoda FSK-signaler mycket mer effektivt än vid ASK-modulering.

Styrkretsens energisnåla avstängningslägen kan utnyttjas för att minimera energiförbrukningen. Den frekvens som sensorn måste sända data vid, beror på tillämpningens svarstid. Om tiden mellan de aktiva perioderna förlängs kommer styrkretsen att ägna mer tid i energisnålt läge, vilket därmed minskar den genomsnittliga kraftförbrukningen.

Strömförbrukningen bestäms också av den typ av data som sensorn infångar mellan sändningarna. Mottagning av data från operationsförstärkare och en lastcellbrygga kräver exempelvis relativt mycket ström jämfört med den ström som används vid sändning av RF-data.

Beräkning av energiförbrukningen

En konstruktion baserad på PIC12LF1840T48A kan få demonstrera hur energiförbrukningen beräknas. Kretsens integrerade sändare har en maximal frekvensavvikelse på högst 200 kHz, vilket möjliggör en maximal bitfrekvens på 100 kbps. Med ett litet datapaket med en 16-bitars inledning, ett 16-bitars synkroniseringsmönster och en 32-bitars nyttolast, tar det bara 640 μ s att sända ett fullständigt datapaket. Om energin mäts i joule (J) ger detta:

$$1J = 1W \cdot 1s = 1V \cdot 1A \cdot 1s$$

Den energiförbrukning som används för att sända ett datapaket beräknas enligt:

$$\begin{aligned} E &= 10,5 \text{ mA} \cdot 640 \mu\text{s} \rightarrow \\ &10,5 \text{ mA} \cdot 3,0 \text{ V} \cdot 640 \mu\text{s} = \\ &31,5 \text{ mW} \cdot 640 \mu\text{s} = \\ &20,16 \mu\text{J} \end{aligned}$$

Det tar normalt 650 μ s att starta ett kristalloscilloskop, med en energigtåg på 5 mA under starten. Energiförbrukningen för starten beräknas därför enligt:

$$E_1 = 5 \text{ mA} \cdot 3,0 \text{ V} \cdot 650 \mu\text{s} = 9,75 \mu\text{J}$$

Den datasändning som utnyttjas i demonstruktionen innehåller en inledning på 16 bitar, synkroniseringsmönster på 16 bitar och 32 bitar data. För den valda bittakten på 100 kbps ger detta en sändningstid på 640 μ s. För en RF-sändning på +0 dB vid 868 MHz, med FSK-modulering, blir strömförbrukningen 12 mA.

$$E_2 = 12 \text{ mA} \cdot 3 \text{ V} \cdot 640 \mu\text{s} = 23,04 \mu\text{J}$$

Med enkel sändning vid 10 kbps skulle energigtången bli:

$$E_2 = 7,5 \text{ mA} \cdot 3 \text{ V} \cdot 6,40 \text{ ms} = 144 \mu\text{J}$$

Denna jämförelse visar hur stor skillnaden mellan i energiförbrukning kan bli, och betonar nyttan av högre datatakt.

PIC12LF1840T48A-sändaren tar automatiskt paus och återgår till ett energisnålt avstängningsläge efter att ha sänt den sista

databiten. Med en minsta "timeout"-period på 2 ms blir den extra energiförbrukningen:

$$E_3 = 12 \text{ mA} \cdot 3 \text{ V} \cdot 2 \text{ ms} = 72 \text{ }\mu\text{J}$$

Dessa beräkningar ger en sammanlagd energiförbrukning för sändningen av ett enda datapaket på:

$$E = E_1 + E_2 + E_3 = 9,75 \text{ }\mu\text{J} + 23,04 \text{ }\mu\text{J} + 72 \text{ }\mu\text{J} = 104,79 \text{ }\mu\text{J}$$

En solcell i miniatyrformat som genererar en utström på 4,5 μA vid 3 V måste vara aktiv under det antal sekunder som krävs för att få nog energi för en enda datasändning. Om en billig solcell används som exempel, med i bästa möjliga fall 3 V vid 40 μA , genereras endast en effekt på 120 μW :

$$3 \text{ V} \cdot 40 \text{ }\mu\text{A} = 120 \text{ }\mu\text{W}$$

Beräkningen av den mängd tid som krävs för att samla tillräcklig energi för att en enda datasändning är:

$$T = 104,79 \text{ }\mu\text{J} / 120 \text{ }\mu\text{W} = 0,87 \text{ s}$$

Detta visar att sensorenheten måste vänta i 0,87 sekunder mellan två efterföljande datasändningar förutsatt att solcellen har en konstant ljuskälla. I den verkliga världens tillämpningar är naturligt ljus, som är den främsta energikällan, bara tillgängligt under dagtid. Beräkningen måste därför utökas till att ta hänsyn till det faktum att skördningssystemet måste lagra energi som skördas under dagen så att den kan utnyttjas nattetid. En annan faktor att beakta är att den energi som krävs för att utföra den faktiska sensormätningen inte inkluderats i exemplets beräkningar.

DET FINNS ETT ANTAL olika alternativ för att lagra den energi som skördas under dagtid. Två exempel är superkondensatorer eller billiga uppladdningsbara NiMH-batterier som dropladdas direkt från solcellen. I det fåtal tillämpningar där energikällan är konstant behövs eventuellt ingen energilagring.

Den främsta fördelen med att använda energiskördning i energisnåla trådlösa sensornoder är inte att det ger en omedelbar minskning av kostnaden per enhet, utan att det ger besparingar i underhålls-



kostnader på längre sikt. Dessa besparingar är framför allt till hjälp om sensornoderna finns på avlägsna platser, eller om nätverket har ett stort antal noder. I båda dessa fall kan energiskördning driva de trådlösa sensorerna nästan hur länge som helst och praktiskt taget utan mänskligt ingripande.

ENERGISKÖRDNING BÖRJAR BLI en möjlig lösning för kraftmatning av trådlösa sensornoder framför allt i nätverk som inte är baserade på nätverksstandarder som exempelvis Zigbee eller Wifi. Antalet energikällor ökar också: exempelvis ljus, värme, radiovågor, mekanisk energi och på sistone till och med blodsocker.

Framgångsrik implementering av energiskördning för kraftmatning av en trådlös sensornod kräver noggrann styrning av den trådlösa sensorns sammanlagda strömförbrukning. Detta kan åstadkommas genom val av lämpligt kommunikationsprotokoll och datahastighet, och genom att man använder alla de energisparande funktioner som är integrerade i RF-kretsar som exempelvis Microchips PIC12LF1840T48A-styrkrets. ■